

# トンネルロックボルト効果に関する実験とクリープ解析

徳島大学大学院 学生員 ○ 淨内 明  
 徳島大学工学部 正 員 藤井 清司  
 徳島大学大学院 学生員 片山 裕

まえがき) 最近、トンネル支保工法の1つとしてNATM工法が注目され、それに関する報告も数多くなされているようである。ここでは、NATM工法におけるロックボルト本数の違いが、時間依存特性を有する地山内の応力状態およびトンネル断面変形状態にいかなる影響を与えるかを、有限要素法解析と模型実験により検討し、本工法の効果に若干の考察を加えるものである。

実験および解析概要) まえがきで述べたように本報告では、ロックボルトの本数による影響を知るため、実験は、試験体寸法100×100×10cmの地山模型中央部に馬蹄形トンネル(上半円半径10cm、底盤長20cm)を設け、その上半アーチ部を等分する放射方向に地山との付着性を考慮して全面に、切りボルト(φ6×78mm)をロックボルト模型とし、奥行2本/10cmでボルト本数を0, 18, 22, 30本と配置した計4ケースについて行なう。ここにロックボルトは全面接着型を想定している。本実験

Table - 1 Relaxation Function and Results of Material Test.

| Age(day)  | $\sigma_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )     | $\sigma_t$ (kg/cm <sup>2</sup> ) | $E(\times 10^6 \text{ kg/cm}^2)$ | $\nu$                                |
|-----------|--------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|
| 14        | 309.50                               | 27.96                            | 0.2491                           | 0.1806                               |
| 16        | 337.74                               | -                                | 0.2504                           | 0.1893                               |
| 18        | 355.23                               | -                                | 0.2605                           | 0.1849                               |
| 21        | 381.63                               | 35.85                            | 0.2654                           | 0.1930                               |
| 27        | 387.28                               | 30.75                            | 0.2651                           | 0.1902                               |
| 35        | 406.16                               | 29.43                            | 0.2667                           | 0.1948                               |
| Parameter | Average Value                        |                                  | Parameter                        | Average Value                        |
| $G_0$     | $2.6878 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$ |                                  | $K_0$                            | $3.4392 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$ |
| $G_1$     | $2.7954 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$ |                                  | $K_1$                            | $3.5769 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$ |
| $G_2$     | $2.1562 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$ |                                  | $K_2$                            | $2.7591 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$ |
| $T_{G_1}$ | 0.801 day                            |                                  | $T_{K_1}$                        | 0.801 day                            |
| $T_{G_2}$ | 19.207 day                           |                                  | $T_{K_2}$                        | 19.207 day                           |

における測定種類は、試験体内に配置したモールド抵抗線歪ゲージによる地山内の歪変化およびトンネル内空断面にセットしたダイヤルゲージからの断面鉛直・水平方向変位量である。ところでNATM工法は、ロックボルトと薄肉ライニングを主たる支保メンバーとして扱うが、ここではライニングは考慮していない。このことは、とすれば解析においてライニングが過剰の抵抗力を示す支保材となるおそれがあるためである。解析ではロックボルトを棒要素として扱い、地山とロックボルトは完全に一体化しているものとする。この前提のもとに前述模型を平面歪状態として解析する。解析種類は実験と同じケースに加えボルトが長い(18cm)場合、およびボルトにプレストレス(100kg/cm)を与えた場合についてである。ここに用いた試験体材料強度一例と解析における定数をTable-1に示す。実験<sup>1)</sup>および解析<sup>2)</sup>の詳細については、後述参考文献を参照されたい。

結果および考察) トンネル断面変位量の実験および解析結果をFig.-1に示す。両結果はよく似た挙動を示しており、このことは線型粘弾性理論を有限要素法に適用したことの妥当性と、解析が実験をよくシミュレートしている保証を与えているものと考えられる。しかしこの結果からは全面接着型ロックボルトを挿入した断面の変形は制御されていないようである。実験値では、ボルトを挿入しない場合の方が変位量を小さくおさえているようになっているが、これは実験使用材料の力学的特性に影響されたものと思われる。またボルトアンカー部をけり定着させ、ボルトにプレストレスを与えた場合には、多少変位をおさえる効果があると思われる。Fig.-2に解析によるトンネル断面に沿った要素の主応力状態を示す。これによればボルトの本数を増加させるに従い、またボルト長を長くすることによつて、最大主応力がほとんど変化することなしに、最小主応力が増加している。ボルトにプレストレスを加えた場合は、最大主応力が減少し、最小主応力はかなり大きくなる。以上のことは、主応力差が小さくなっていることであり、Mohr-Coulombの破壊規準線から離れる傾向にあることを示す。

のである。すなわちボルト本数を増加させることによって、またボルトを長くすることで、ある程度すべり破壊領域を減少させることが可能であり、さらにボルトにプレストレスを導入すれば、その効果は顕著化する。

なおボルトを挿入していないスプリングライン以下の側壁部、および底盤部にはボルトによる影響はほとんどみられない。しかし側壁部には応力が集中し、破壊しやすい領域であるため、この部分にもボルトを打設することが望ましい。時間的にはスプリングライン付近

および隅角部付近において、最大主応力の緩和がみられるが、側壁部においては逆に増加している。最小主応力はトンネルアーチ部分から側壁部にかけて増加しているが、隅角部では応力が小さくなっており、その為アーチ部と側壁部では経日とともに安定するが、隅角部付近ではすべり破壊しやすい状態へと移行する。しかし、そのオーダーは応力にして  $5 \text{ kg/cm}^2$  程度であるので粘着による破壊を検討するよりは開削直後の安全性を考慮することが重要であると思われる。またボルト本数の違いによる応力の経日変化に大きな差は認められない。

まとめ 本解析は実験に対して十分にシミュレートしているものと考えられるが、もし、このモデル化が妥当であれば、全面接着型ロックボルト

においては、ボルト本数を増すか、ボルト長を長くすることによってすべり破壊領域を減少せしめるものと考えられる。またロックボルトにプレストレスを導入することによって、トンネル断面の変位量を制御することが可能であり、単に地山との付着にその効果を期待する全面接着型よりも、ボルトアンカーの定着に問題のないような地山では、積極的にプレストレスを与える方がより大きな効果を期待できるものと思われる。加えてトンネル周辺地山の安全性を高めるために、ボルトは全面に打設する方が望ましく、特に応力の集中する側壁部にはその考慮は多分に必要なものと考えられる。またボルトの打設位置によって応力の流れに変化がみられるため、ボルトの本数およびプレストレスを加えることだけを考慮するのではなく、ボルトの打設位置も配慮する必要があるように思われる。

参考文献 ① 藤井・澤内：トンネルロックボルトに関する一考察 昭和54年度中四国支部講演集

② 藤井・篠田：逐次開削トンネル周辺粘着地山に於けるロックボルト効果について 第32回土木学会講演集

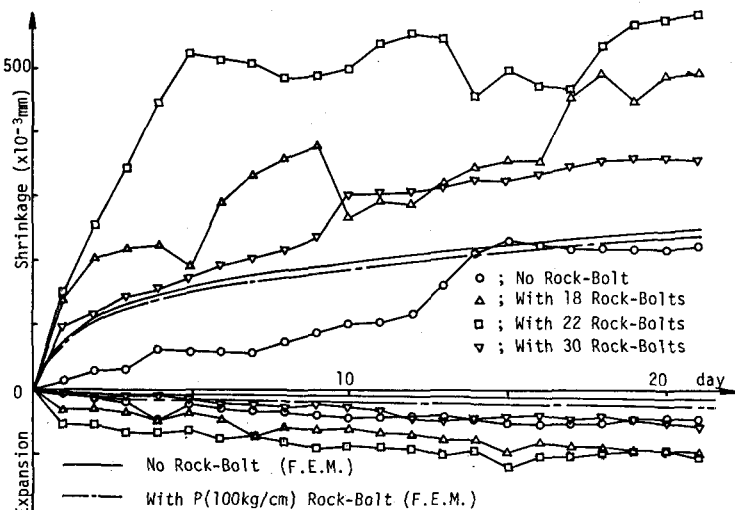


Fig.- 1 Horizontal and Vertical Displacement of Tunnel.

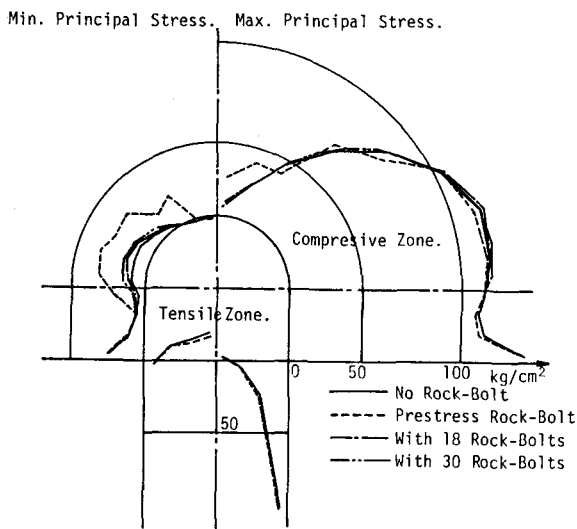


Fig.- 2 Principal Stress Distribution around the Tunnel.